Linzer biol. Beitr.	33/1	325-333	29.6.2001

Untersuchungen zur Wurzelholzanatomie von *Larix decidua* und *Picea abies* unter besonderer Berücksichtigung des Baues der Längstracheiden

P. TRINKAUS

Abstract: In this paper different roots of Norway spruce and Larch in different distances from the stem are investegated, with special consideration to the relation from parameters influencing the hardness of wood.

Basing on former studies it could be expected, that horizontal roots primary fulfill the functions water transport and storage of assimilates, whereas in vertical roots the function hardness of wood is more important. The investigations to the wood anatomy show, that against the expectation horizontal roots of Norway spruce have a greater similarity to vertical roots of Larch than to horizontal roots of Larch.

Key words: root wood anatomy, axial tracheids, hardness of wood.

1. Einleitung

Im Auftrag des Bundesministeriums für Wissenschaft und Forschung sowie des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung wurden in einem Zeitraum von 3 Jahren in einem Teilbereich des Gleintales östlich von Knittelfeld (Steiermark) geo- und biowissenschaftliche Erhebungen durchgeführt, die einen Beitrag zur Klärung des Problemkreises „Erosion und Massenbewegungen" unter den spezifischen geologischen und klimatologischen Verhältnissen dieses Raumes liefern sollen. Bei der Betrachtung der im Untersuchungsgebiet vorkommenden Baumarten fällt auf, dass Bodenbewegungen durch den Säbelwuchs der Lärchen (*Larix decidua* MILL.) angezeigt werden, während die Fichten (*Picea abies* (L.) KARSTEN) praktisch nie Säbelwuchs zeigen und, dass Waldbereiche mit größeren Lärchenanteilen stärkeren Widerstand gegenüber Massenbewegungen leisten als reine Fichtenbestände. Die Ursache dieser auffallenden Unterschiede bezüglich der Wuchsformen ist durch die verschiedenen Wurzelsysteme der beiden Arten und das Faktum, dass die Fichten im Untersuchungsgebiet keine artgerechte Wurzeltracht aufweisen, bedingt (PROSKE, LAZAR & TRINKAUS 1994).

KÖSTLER, BRÜCKNER & BIBELRIETHER 1968 unterscheiden oberflächennahe, mehr oder weniger waagrecht, oder bei geneigtem Gelände parallel zur Oberfläche verlaufende Horizontalwurzeln von senkrecht beziehungsweise schräg vom Wurzelstock oder von Horizontalwurzeln abgehende Vertikalwurzeln. Diese Vertikalwurzeln sind weiter zu untergliedern in Pfahlwurzeln, Herzwurzeln und Senkwurzeln (= Senker). Pfahlwurzeln sind von der Stockunterseite entspringende, vertikal gerichtete Hauptwurzeln. Bei

Herzwurzeln handelt es sich um seitlich am Stock oder schräg von der Stockunterseite entspringende, mehr oder weniger in die Tiefe vordringende Wurzeln. Senkwurzeln (Senker) sind von Horizontalwurzeln abzweigende, senkrecht oder schräg in die Tiefe vordringende Wurzeln. Je nachdem, welcher dieser drei Wurzeltypen vorherrscht, werden die Begriffe Pfahl-, Herz- oder Senkerwurzelsystem verwendet. Die Begriffe Wurzelsystem, Wurzeltracht und Wurzelwerk umfassen die Gesamtheit der Wurzeln eines Baumes. Nach KÖSTLER, BRÜCKNER & BIBELRIETHER 1968 weist *Larix decidua* ein typisches Herzwurzelsystem auf. Im Gegensatz dazu ist *Picea abies* mit einem Senkerwurzelsystem ausgestattet.

Neben der Abhängigkeit der Wurzeltracht von der Spezies übt auch die physikalisch-chemische Beschaffenheit des Bodens (z.B. Sauerstoffmangel, Trockenheit, Nährstoffmangel) einen nicht zu unterschätzenden Einfluss auf die Art der Durchwurzelung aus. (siehe auch: KÖSTLER 1962; MELZER 1964; KÖSTLER, BRÜCKNER & BIBELRIETHER 1968; STROHSCHNEIDER 1991).

Für die Beurteilung der Wurzeltracht von *Picea abies* und *Larix decidua* im Untersuchungsgebiet wurden die Wurzelsysteme von bei Hangrutschungen umgerissenen Bäumen einer genauen Beobachtung unterzogen. Die Lärchen zeigen eine typische Herzwurzeltracht. Die Fichten dagegen wurzeln immer extrem flach. Kräftige Senkwurzeln konnten niemals gefunden werden. In den wenigen Fällen, in denen überhaupt Senker festgestellt werden konnten, sind diese sehr dünn und auffallend kurz (PROSKE, LAZAR & TRINKAUS 1994) und enden in geringer Tiefe (bis maximal 20 cm) mit büscheligen, quastenartigen Verzweigungen. Die nicht artgerechte Wurzeltracht der Fichte wird auf die hohen Konzentrationen von toxischen Aluminiunionen im Boden zurückgeführt (siehe diesbezüglich auch MAJER, KILIAN & MUTSCH 1989).

2. Literaturübersicht zur Stamm- und Wurzelholzanatomie von *Picea abies* und *Larix decidua*

Beide Arten zeigen trotz der deutlichen makroskopischen Unterschiede (Farbkern bei der Lärche im Gegensatz zur Fichte) mikroskopisch einen sehr ähnlichen Holzbau. Sie sind bezüglich des axialen Baues dem Gymnospermen-Bautyp mit einem Grundgewebe aus Längstracheiden ohne Gefäße und mit Tüpfelverbindungen zwischen den Tracheidengeweben an den Jahrringgrenzen (siehe BRAUN 1970) und bezüglich des Baues der Holzstrahlen dem Typ der Kontakt-Holzstrahlen der Gymnospermae (= K-1-e-Typ G – siehe BRAUN, WOLKINGER & BÖHME 1967, BRAUN 1970) mit heterozellularen Holzstrahlen zuzuordnen.

Das zuverlässigste mikroskopische Unterscheidungskriterium stellt laut WAGENFÜHR 1980 das Auftreten von Hoftüpfeldoppelreihen bei den Frühholztracheiden der Lärche dar, welche bei der Fichte fehlen. Allerdings sind auch bei den Längstracheiden der Fichte gelegentlich zwei Tüpfel in der selben Höhe zu finden (GREGUSS 1955). Bezüglich der Runkelzahlen der Längstracheiden weist die Lärche sowohl bei den Frühholztracheiden (Mittelwerte: Lärche - 0,14; Fichte - 0,11), als auch bei den Spätholztracheiden (Mittelwerte: Lärche - 0,68; Fichte - 0,61) die etwas höheren Werte auf als die Fichte (WAGENFÜHR 1980). Dies wird auch bestätigt durch das Faktum, dass für das Lärchenholz verglichen mit der Fichte geringfügig höhere Festigkeitswerte typisch sind (BOSSHARD 1982).

Zwar hat das Wurzelholz prinzipiell die gleichen Aufgaben zu erfüllen wie das Stammholz, nämlich Leitung von Wasser und Assimilaten, Festigung, Speicherung und Durchlüftung, jedoch ermöglichen und erfordern die veränderten physiologischen Anforderungen in einem gänzlich anderen Milieu gewisse Abänderungen der typischen Stammholzanatomie. So ändern sich nach RIEDL 1937 beim Wurzelholz der Gymnospermen sowohl die Zellweiten wie auch die Zellwandstärken in Abhängigkeit von der Entfernung vom Stamm. Während die Zelllumina immer weiter werden, werden die Zellwände immer dünner. In stammnahen Bereichen ist anhand der Wanddicken der Tracheiden noch eine deutliche Unterscheidung von Früh - und Spätholz festzustellen, während die Zellwände in stammferneren Zonen durchwegs die gleiche Dicke aufweisen und das Spätholz oft nur durch eine einzige radial verkürzte Zelle gebildet wird. Die Länge der Tracheiden nimmt mit zunehmender Stammentfernung zu, die Jahrringzuwächse nehmen in die selbe Richtung stark ab (RIEDL 1937). LIESE 1926 berichtet von oft nur aus zwei Zellreihen bestehenden Jahrringen und zwar bei der Kiefer. Auch die Höhe der Holzstrahlen und die Querschnittsflächen der Frühholztracheiden nehmen mit zunehmender Stammentfernung zu (BANNAN 1941).

Bei den Laubhölzern erfahren die in erster Linie der Festigung dienenden Zellen (Holzfasern, tracheidale Elemente) im Wurzelholz die selben Veränderungen, wie für die Nadelhölzer beschrieben (PLANK 1976; TRINKAUS 1990). Auf die sehr komplexen Veränderungen der Gewebsanteile der Laubhölzer in Abhängigkeit von der Stammentfernung sei an dieser Stelle nur kurz hingewiesen (siehe: RIEDL 1937; LIESE 1924; COCKERHAM 1930; PATEL 1965; PLANK 1976; TRINKAUS 1990).

Wesentlich einfacher sind diesbezüglich die Verhältnisse bei den Gymnospermen. RIEDL (1937) bemerkt, dass bezüglich des Parenchymanteils keine wesentlichen Unterschiede im Wurzelholz gegenüber dem Stammholz festzustellen sind. Es tritt im Stamm, wie auch in der Wurzel einerseits als Holzstrahlparenchym, andererseits rund um die Harzgänge und sehr spärlich im Bereich der Jahrringgrenzen in Erscheinung, wobei in der Wurzel eine Vergrößerung der Zelldimensionen festzustellen ist. Somit stellen die Abänderungen des Längstracheidenbaues aus holzanatomischer Sicht die für die Festigkeitseigenschaften der Nadelholzwurzeln wesentlichen Kriterien dar.

Bereits RIEDL 1937 gelangt aufgrund von mikroskopischen Befunden, Raumgewichts- und Wasserleitfähigkeitsbestimmungen zu dem Schluss, dass Horizontalwurzeln in erster Linie Wasserleitfunktion ausüben, während bei Pfahlwurzeln die Festigungsfunktion an erster Stelle steht. Nach TRINKAUS 1990 vollzieht sich auch bei Angiospermenhölzern die Umwandlung vom stammnahen in stammfernes Holz in Horizontalwurzeln wesentlich früher als in vertikal verlaufenden Wurzeln und zwar sowohl die Dimensionen der einzelnen Gewebe betreffend, wie auch bezüglich der prozentualen Gewebeanteile. In geringer Stammentfernung unterscheiden sich vom funktionalen Gesichtspunkt aus betrachtet Horizontalwurzeln von Pfahlwurzeln dahingehend, dass erstere hauptsächlich die Funktionen Wasserleitung und Speicherung von Assimilaten erfüllen, während bei Pfahlwurzeln die Festigungsfunktion wesentlich stärker betont ist.

3. Eigene Untersuchungen zur Stamm- und Wurzelholzanatomie von *Picea abies* und *Larix decidua*

3.1 Methodik

Die anatomischen Untersuchungen wurden anhand zirka 15-jähriger Lärchen und Fichten durchgeführt. Von beiden Arten wurden von verschiedenen Wurzeltypen in unterschiedlichen Stammentfernungen Schnitte für die mikroskopischen Untersuchungen angefertigt.

Holzanatomisch untersuchte Lärchenwurzeln:	Horizontalwurzeln
	schräg in die Tiefe verlaufende Wurzeln
	vertikal verlaufende Wurzeln
Holzanatomisch untersuchte Fichtenwurzeln:	Horizontalwurzeln

Besonderes Augenmerk wurde auf die, die Reißfestigkeit der Wurzeln am maßgeblichsten beeinflussende Größe, nämlich die Runkelzahlen der Tracheiden (= Wasserleitungs- und Festigungselemente) gelegt. Bei annähernd gleichem Tracheidenanteil, wie dies bei den Gymnospermen zumeist der Fall ist, bedingen somit hohe Runkelzahlen eine hohe Festigkeit des Holzkörpers (hohe Raumdichten) und niedrige Runkelzahlen eine geringe Festigkeit. Die sogenannten Runkelzahlen (= Wandigkeit) der Tracheiden wurden nach WAGENFÜHR 1980 berechnet, indem der Quotient aus 2× Zellwanddicke/Zelllumen [genaugenommen (2× radiale Zellwand + 2× tangentiale Zellwand) / (Zelllumen radial + Zelllumen tangential)] gebildet wurde.

Daneben wurde auf das Verhältnis der Tracheiden zu dem weniger zur Festigung, sondern eher zur Speicherung dienenden parenchymatischen Gewebe und das Verhältnis des Rindenanteiles zum Holzanteil, Augenmerk gelegt.

Zum Vergleich der Runkelzahlen wurden immer idente Jahresringe herangezogen. Die Anzahl der untersuchten Stichproben betrug für jeden untersuchten Wurzeltyp 25. Die Einzelwerte sind PROSKE, LAZAR & TRINKAUS 1994 zu entnehmen.

Um die erlangten Datensätze (sämtliche Runkelzahlen sind im Anhang angeführt) einer prüfstatistischen Auswertung in Form einer einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA; Fisher-PLSD–Test siehe SACHS 1984; Irrtumswahrscheinlichkeit: 5%;) unterziehen zu können, erfolgte zur Erlangung von Normalverteilungen und annähernd gleich großen Varianzen eine Transformierung, nämlich: $x \rightarrow \ln(1+x)$.

3.2 Ergebnisse

3.2.1 Stammholzanatomie

Beide Arten zeigen bezüglich der Stammholzanatomie einen arttypischen Bau (Frühholztracheiden und Spätholztracheiden als Wasserleitungs- und Festigungsgewebe; heterozellulare Holzstrahlen, zusammengesetzt aus Holzstrahltracheiden und Holzstrahlparenchym als radial verlaufende Wasserleitungs- beziehungsweise Speicherelemente; sehr wenig axiales Parenchym als Speichergewebe und Epithelzellen rund um die Harzkanäle als Exkretionsgewebe). Die Lärchen zeigen im Bereich des Stammfußes und darüber oft Reaktionsgewebe in Form von Druckholz, und zwar genau in denjenigen Berei-

chen, die durch Schneedruck beeinträchtigt sind. Nicht so deutlich, wenn auch ansatzweise, treten die Unterschiede der beiden untersuchten Arten bezüglich des von WAGENFÜHR (1980) angeführten Übergangs vom Frühholz zum Spätholz hervor (Lärche - Übergang plötzlich; Fichte - Übergang gleitend). Die mittleren Runkelzahlen im Frühholz liegen sowohl bei der Lärche, als auch bei der Fichte bei Werten zwischen 0,12 und 0,13. Im Spätholz sind die mittleren Runkelzahlen bei der Lärche (0,70) etwas höher als bei der Fichte (0,63).

Nachdem beide Arten im Stammholz ähnliche Runkelzahlen aufweisen, stellte sich die Frage, inwieweit sich die Festigkeitseigenschaften der Horizontalwurzeln der Fichte von denen der Lärche und vor allem von denen der mehr oder weniger vertikal verlaufenden Lärchenwurzeln bezüglich der einzelnen Gewebeanteile und bezüglich der Runkelzahlen der Längstracheiden unterscheiden.

3.2.2 Untersuchungen zur Wurzelholzanatomie von *Picea abies* und *Larix decidua*

3.2.2.1 Holzanatomische Beschreibungen

Bereits makroskopisch deutlich erkennbar ist bei den Wurzeln die Erhöhung des Rindenanteils und die Reduzierung des Holzanteils verglichen mit den Stamm, und zwar in Abhängigkeit vom Wurzeltyp, von der Spezies und von der Stammentfernung.

3.2.2.1.1 *Larix decidua* - Horizontalwurzeln, stammnah (10 cm Stammentfernung)

In diesen Bereichen ist nur mehr ein sehr geringer Spätholzanteil feststellbar (1-3 tangentiale Reihen von Spätholztracheiden). Die Anzahl der Harzkanäle geht im Vergleich zum Stammholz leicht zurück. Bezüglich des Anteils an axialem Parenchym und Holzstrahlparenchym sind keine nennenswerten Unterschiede zu Stammholz festzustellen. Die Zelllumina der Tracheiden und der Parenchymzellen sind im Vergleich zum Stamm erhöht. Die Runkelzahlen der Längstracheiden sind im Vergleich zum Stamm stark reduziert. Die Abänderung von der typischen Stammholzanatomie ist bereits sehr weit fortgeschritten. Die mittlere Runkelzahl ist 0,23.

3.2.2.1.2 *Larix decidua* - Horizontalwurzeln, stammfern (50 cm Stammentfernung)

Meist ist nur mehr eine Reihe von Spätholztracheiden ausgebildet und daher sind auch die Jahrringgrenzen kaum erkennbar. Bezüglich des Anteils axialen Parenchyms und Holzstrahlparenchyms sind keine Unterschiede zum stammnahen Horizontalwurzelholz erkennbar. Verglichen mit dem stammnahen Horizontalwurzelholz fällt die weiter fortschreitende Vergrößerung der Zelllumina und die weiter fortschreitende Reduktion der Runkelzahlen auf. Die mittlere Runkelzahl lautet 0,16.

3.2.2.1.3 *Picea abies* - Horizontalwurzeln, stammnah (10 cm Stammentfernung)

In den stammnahen Horizontalwurzeln von Picea abies ist immer reichlich Spätholz ausgebildet und auch die Jahrringgrenzen sind makroskopisch deutlich erkennbar. Die Zelldimensionen sind ähnlich wie im Stamm und es kommt zu keiner Erhöhung des

Parenchymanteils im Vergleich zum Stammholz. Die Runkelzahlen sind im Vergleich zum Stamm sowohl im Frühholz, wie auch im Spätholz nur leicht reduziert. Im Gegensatz zu den Horizontalwurzeln der Lärche zeigen die der Fichte nur geringfügige holzanatomische Abweichungen vom Stamm. Die mittlere Runkelzahl ist 0,42.

3.2.2.1.4 *Picea abies* - Horizontalwurzeln, stammfern (50 cm Stammentfernung)

Der Spätholzanteil ist deutlich geringer als im stammnahen Wurzelholz und die Jahrringgrenzen werden undeutlicher. Der Parenchymanteil ist etwas höher als im stammnahen Wurzelholz und die Anzahl der Harzkanäle etwas geringer. Es kommt zu einer Zunahme der Zelllumina verglichen mit dem stammnahen Wurzelholz. Die Durchmesser der Zelllumina sind jedoch deutlich geringer als bei den Horizontalwurzeln der Lärche in der selben Stammentfernung. Die Abwandlung zum typisch stammfernen Wurzelholz ist bei den Horizontalwurzeln der Fichte in einem bei weitem nicht so starken Ausmaß erfolgt wie bei den Horizontalwurzeln der Lärche. Die mittlere Runkelzahl liegt bei 0,21.

3.2.2.1.5 *Larix decidua* – Vertikalwurzeln, stammnah (10 cm Stammentfernung)

Es sind keine wesentlichen, die Festigkeit der Wurzeln betreffenden Unterschiede verglichen mit dem stammnahen Horizontalwurzelholz der Fichte festzustellen. Der Mittelwert der Runkelzahlen liegt überraschenderweise sogar etwas niedriger als bei Horizontalwurzeln der Fichte in 10 cm Stammentfernung (R = 0,34).

3.2.2.1.6 *Larix decidua* - Vertikalwurzeln, stammfern (50 cm Stammentfernung)

Bezüglich der Parameter, die die Festigkeitseigenschaften beeinflussen, ist eine auffallende Ähnlichkeit zum stammfernen Wurzelholz der Fichte festzustellen. Die mittlere Runkelzahl lautet 0,22.

3.2.2.1.7 *Larix decidua* – schräg in einem Winkel von 45° vom Stammfuß abgehende Wurzeln, stammnah (10 cm Stammentfernung)

Die untersuchten Wurzeln zeigen in jeder Hinsicht eine große Affinität zu den streng vertikal verlaufenden Lärchenwurzeln in geringer Stammentfernung (mittlere Runkelzahl: 0,41).

3.2.2.1.8 *Larix decidua* – schräg in einem Winkel von 45° vom Stammfuß abgehende Wurzeln, stammnah (50 cm Stammentfernung)

Auch in größerer Stammentfernung sind keine holzanatomischen Unterschiede zu den vertikal verlaufenden Lärchenwurzeln festzustellen (mittlere Runkelzahl: 0,19).

3.2.2.2 Statistische Auswertung

Alle untersuchten Wurzeltypen beider Baumarten mit Ausnahme der Horizontalwurzeln der Lärche, bei welchen die bereits in stammnahen Zonen äußerst niedrigen Runkelzahlen für dieses Ergebnis ausschlaggebend sind, weisen bezüglich der die Festigkeitswerte in

sehr entscheidendem Ausmaß mitbestimmenden Runkelzahlen in stammnahen Bereichen signifikant höhere Werte auf als in den stammfernen.

Vergleicht man die verschiedenen Wurzeltypen in stammnahen Bereichen miteinander, so bilden Horizontalwurzeln der Fichte und die vertikal und die schräg in die Tiefe verlaufenden Wurzeln der Lärche mit Mittelwerten zwischen 0,34 bis 0,42 auf dem 5%-Niveau eine homogene Gruppe, von der sich die wesentlich niedrigeren Runkelzahlen der Horizontalwurzeln der Lärche mit einem Mittelwert von 0,23 signifikant absetzen. Dies bedeutet eine Bestätigung des bereits erwähnten Abweichens der Horizontalwurzeln der Lärche von den übrigen untersuchten Wurzeltypen von Fichte und Lärche.

Im stammfernen Wurzelholz sind, obwohl auch hier die Horizontalwurzeln der Lärche wiederum tendenziell die geringsten Werte zeigen, keine signifikanten Unterschiede (Signifikanzniveau: 5%) der Runkelzahlen mehr festzustellen.

Es kann aufgrund der anatomischen Untersuchungen die Hypothese, dass die Festigkeitswerte der Horizontalwurzeln der Fichte geringer sind, als die der mehr oder weniger vertikal verlaufenden Wurzeln der Lärche, als unhaltbar bezeichnet werden. Vielmehr kann geschlossen werden, dass das Horizontalwurzelholz der Fichte bezüglich der Festigkeitseigenschaften dem der vertikal verlaufenden Wurzeln der Lärche entspricht und das der horizontal verlaufenden Lärchenwurzeln deutlich übertrifft.

4. Diskussion

Während die Lärchen im Untersuchungsgebiet eine für diese Spezies typische Wurzeltracht zeigen, kann das Wurzelsystem der Fichten keineswegs als arttypisch bezeichnet werden. Die extrem geringe Durchwurzelung tieferer Bodenschichten in reinen Fichtenbeständen ist bedingt durch das Fehlen kräftiger Senkwurzeln. Dass infolgedessen die tieferwurzelnden Lärchen Hangrutschungen gegenüber einen weitaus stärkeren Widerstand zu leisten in der Lage sind, liegt auf der Hand (drainierende Wirkung; Verankerung in tieferen Bodenhorizonten).

Der Großteil der Ergebnisse der holzanatomischen Untersuchungen bestätigt bereits vorhandene Erkenntnisse zur Anatomie von Nadelholzwurzeln und deren Abänderungen in Abhängigkeit von der Stammentfernung, nämlich die Verringerung der Wurzeldurchmesser, die Erhöhung des Rindenanteils und Reduzierung des Holzanteils sowie der Jahresringbreiten, die Reduzierung des Spätholzanteils, die Größenzunahme sämtlicher Zellen im Holz, die Vergrößerung der Zelllumina und die Verringerung der Zellwanddicken vor allem der Längstracheiden und schließlich das Faktum, dass im Wurzelholz von Nadelhölzern keine nennenswerte Veränderung der Anteile einzelner Gewebe verglichen mit dem Stammholz festzustellen ist.

Resultierend aus bislang durchgeführten holzanatomischen Arbeiten (z.B. RIEDL 1937, PATEL 1965, TRINKAUS 1990) war zu erwarten, dass bezüglich der die Festigkeit der Wurzeln beeinflussenden Parameter die Fichte schlechter abschneidet als die Lärche, da in der Regel in Horizontalwurzeln die Umwandlung in typisches Wurzelholz schon in geringer Stammentfernung erfolgt, als in mehr oder weniger vertikal verlaufenden Wurzeln.

Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen zeigen jedoch, dass bei der Fichte, welche als Art mit einem typischen Senkerwurzelsystem sehr lange, nämlich bis zur Ausbildung der Senker, einzig und allein auf die Festigkeitseigenschaften der Hori-

zontalwurzeln angewiesen ist, horizontal verlaufende Wurzeln bezüglich der die Festigkeit beeinflussenden Parameter vertikal verlaufenden Wurzeln der Lärche durchaus entsprechen und Horizontalwurzeln der Lärche bei weitem übertreffen.

Die holzanatomischen Unterschiede zwischen horizontal und vertikal verlaufenden Wurzeln sind (zur Verifizierung dieser Hypothese sollten noch weitere Arten mit einem Senkerwurzelsystem dahingehend untersucht werden) nur bei denjenigen Baumarten festzustellen, die ein Pfahl- oder Herzwurzelsystem aufweisen.

Bei *Picea abies*, einer Art mit einem Senkerwurzelsystem, deren Verankerung im Boden bis zum etwa 40. Lebensjahr nur durch Horizontalwurzeln erfolgt, zeigen diese Horizontalwurzeln Ähnlichkeit mit vertikal verlaufenden Wurzeln anderer Arten und zwar in der Form, dass die Umwandlung in typisch stammfernes Wurzelholz erst in größerer Stammentfernung erfolgt.

5. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit werden die für die Festigkeit relevanten Parameter des Holzes von Horizontalwurzeln der Fichte und der Lärche sowie von mehr oder weniger vertikal verlaufenden Wurzeln der Lärche in verschiedenen Stammentfernungen miteinander verglichen.

Basierend auf bereits durchgeführten Arbeiten war zu erwarten, dass Horizontalwurzeln hauptsächlich die Funktionen Wasserleitung und Speicherung von Assimilaten erfüllen, während bei Pfahlwurzeln und sonstigen vertikal verlaufenden Wurzeln die Festigungsfunktion wesentlich stärker betont ist.

Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten holzanatomischen Untersuchungen zeigen jedoch, dass entgegen den Erwartungen bei der Fichte horizontal verlaufende Wurzeln bezüglich der die Festigkeit beeinflussenden Parameter vertikal verlaufenden Wurzeln der Lärche durchaus entsprechen und Horizontalwurzeln der Lärche deutlich übertreffen.

Schlüsselworte: Wurzelholzanatomie, Längstracheiden, Festigkeit des Holzes.

6. Literatur

BANNAN M.W. (1941): Variability in wood structure in roots of native Ontario conifers. — Bull. Torrey Bot. Club **68/3**: 173-194.

BOSSHARD H.H. (1982): Holzkunde. Mikroskopie und Makroskopie des Holzes.- 2.Aufl., Birkhäuser-Verlag, Stuttgart.

BRAUN H.J. (1970): Funktionelle Histologie der sekundären Sprossachse, 1 Das Holz.- In: ZIMMERMANN W., OZENDA P. & H.D. WULFF (Hrsg.): Handbuch der Pflanzenanatomie.- 9, Bornträger-Verlag, Berlin, Stuttgart.

BRAUN H.J., WOLKINGER F. & H. BÖHME (1967): Entwicklung und Bau der Holzstrahlen unter dem Aspekt der Kontakt-Isolations-Differenzierung gegenüber dem Hydrosystem. II. Die Typen der Kontakt-Holzstrahlen. — Holzforsch. **21**: 145-153.

COCKERHAM G. (1930): Some observations on cambial activity and seasonal starch content in sycamore (Acer pseudoplatanus). — Proc. Leeds Philosophical and Literary Soc., Scientific Sect. **2**: 64-80.

GREGUSS P. 1955: Xylotomische Bestimmung der heute lebenden Gymnospermen. — Akademiai Kiado, Budapest.

KÖSTLER J. (1962): Untersuchungen zur Wurzelausbildung. — Allg. Forstz. **28**: 1-4.

KÖSTLER J., BRÜCKNER E. & H. BIBELRIETHER (1968): Die Wurzeln der Waldbäume. Untersuchungen zur Morphologie der Waldbäume in Mitteleuropa. — Hamburg/Berlin.

LIESE J. (1924): Beiträge zur Anatomie und Physiologie des Wurzelholzes. — Ber. Dt. bot. Ges. **42**: 91-97.

LIESE J. (1926): Beiträge zur Kenntnis der des Wurzelsystems der Kiefer (*Pinus sylvestris*). — Z. Forst-und Jagdwes. **58**: 129-181.

MAJER C., KILIAN W. & F. MUTSCH (1989): Die Böden im Gleinalmgebiet. — Mitt. Forstl. Bundesvers. Anst. Wien **163** Bd.1: 33-127.

MELZER E. (1964): Vergleich der Wurzelausbildung zwischen meliorierten und nichtmeliorierten Standorten der Oberförsterei Adorf/Vogtland. — Arch. Forstwes. **13**: 615-625.

PATEL R.N. (1965): A comparison of the anatomy of the secundary xylem in roots and stems. — Holzforsch. **19**: 72-79.

PLANK S. (1976): Histologie und Verkernung des Holzes von *Sambucus nigra* und *Sambucus racemosa*. — Phyton **17**: 195-212.

PROSKE H., LAZAR R. & P. TRINKAUS (1994): Erfassung und Darstellung geogen bedingter Boden- und Gebirgsinstabilitäten unter besonderer Berücksichtigung einer Katastrophenvorsorge. — Endbericht, Joanneum Research, Graz.

RIEDL H. (1937): Bau und Leistungen des Wurzelholzes.- Diss., Leipzig.

STROHSCHNEIDER I. (1991): Standorte der Sturmschadensgebiete 1990 mit Blick in den „unterirdischen Wald".— Österr. Forstz. **4**: 31-34.

TRINKAUS P. (1990): Lebende Holzfasern im Wurzelholz und im Holz unterirdischer Sproßteile. — Dipl., Univ. Graz.

WAGENFÜHR R. (1980): Anatomie des Holzes.- 2. Aufl., VEB Fachbuchverlag Leipzig, New York.

Anschrift des Verfassers: Mag. Dr. Peter TRINKAUS
Institut für Umweltgeologie und Ökosystemforschung
Joanneum Research; Elisabethstraße 16/18
A-8010 Graz, Austria